應用遙測影像輔助判釋土壤限制因子分佈地區之技術

申雍[*1]、吳正宗[1]、陳仁炫[1]、江志峰[2]、劉禎祺[2]、王鐘和[2]
[1]中興大學土壤環境科學系
[2]農委會農業試驗所農化組
E-mail: yshen@nchu.edu.tw

摘要 ---------- 82
一、前言 ---------- 82
二、遙測影像選擇要點 ---------- 83
三、遙測影像輔助分析 ---------- 83
四、結語 ---------- 86
五、誌謝 ---------- 86
六、引用文獻 ---------- 86
ABSTRACT ---------- 88

應用遙測影像輔助判釋土壤限制因子分佈地區之技術

申雍*[1]、吳正宗[1]、陳仁炫[1]、江志峰[2]、劉禎祺[2]、王鐘和[2]
[1]中興大學土壤環境科學系
[2]農委會農業試驗所農化組
E-mail: yshen@nchu.edu.tw

摘要

田間土壤性狀多具有空間分佈不均的特性，可以成爲導致田間作物產量發生空間變異的主要因素。應用遙測影像可獲得目標區內作物生育情形的空間分佈資訊，遠較以人爲方式於地面進行採樣、分析的調查方式來得經濟有效，且具有整體的空間觀念，更有利於進行相關的研判工作。本研究以農委會農業試驗所之水稻精準試驗田區爲例，探討應用遙測影像輔助判釋土壤限制因子分佈地區之方法，並針對所分析之研究區域，提出可增加水稻產量之精準農耕操作方法的建議。本研究所開發的技術可與前一年度所發展之快速偵檢土壤性質空間分佈之技術結合，組成水稻精準農耕系統中，有關土壤環境空間變異特性的偵檢技術，也是發展精準農耕的重要關鍵技術。

關鍵詞：遙感探測、土壤性質、空間變異。

一、前言

「精準農業」是現代化農業科技的重要發展方向之一，因此受到農業界高度的重視。「精準農業」目前尚屬於發展初期，許多技術細節仍有待進一步之開發，但是其發展的大方向已很清楚，主要要求能精確掌握氣候和土壤之時間與空間的變異，以及其對農作物生育的影響，使能經由肥培、施藥等栽培管理手段，進行高效率的農業經營與管理，並減少由農業所產生之非點源污染(non-point pollution)，進而達到提高生產利潤，保護生態環境的目標，使農業得以永續發展(Blackmore *et al.*, 1995; Castelnuovo, 1995; Pierce and Sadler, 1997)。

田間土壤性狀多具有空間分佈不均的特性，可以成爲導致田間作物產量顯現空間變異的主要因素(Dobermann *et al.*，1994、1995；Wollenhaupt et al.，1997: Pan *et al.*，1997)。因此，比對田間土壤性質的分佈圖與作物生育性狀及產量分佈圖，將是發掘潛在土壤限制因子及分佈位置的重要方法之一(申，2001；Lillesand and Kiefer，1994；Long *et al.*，1995；Larscheid *et al.*，1997)。

在有關田間土壤性質分佈圖的繪製方面，由於對土壤樣品進行詳細的理化特性分析，不僅耗費時間且費用昂貴，而且若取樣數目太多、或取樣的位置不適當都將造成浪費，但是取樣太少又可能無法準確區別出土壤性狀之空間變異。因此，申等(2002)曾應用電磁感應技術和地理統計技術，結合傳統的土壤理化特性分析方法，建立快速偵測田間重要土壤

性質空間分佈之技術，不僅可以大幅減少土壤採樣的點數，且能協助選擇適當的位置進行採樣。該研究亦同時製作有多張農業試驗所水稻精準農耕共同試驗田區之重要土壤性質的空間分佈圖。

本研究著重於如何應用遙測影像，結合已完成之田間重要土壤性質分佈圖，開發利用遙測影像輔助判釋潛藏土壤限制因子分佈地區之技術，以期能與申等(2002)快速偵檢土壤性質空間分佈之技術結合，組成水稻精準農耕系統中，有關土壤環境空間變異特性的偵檢技術。

二、遙測影像選擇要點

選用遙測影像首先必須考量拍攝的時機。就水稻而言，理想的拍攝時機應爲水稻生育之中期，約在最大分蘗期至抽穗期之間，因爲此時段涵蓋水稻營養生長的末期及生殖生長的初期，屬於水稻生長最爲旺盛的時段，不僅植被已完全覆蓋田區，葉片也多屬於完全展開的狀態，植被反射光譜應該含有充分的資訊可供解讀。而且，田間土壤若有限制因子存在，應該已有相當之影響時日可供顯現。此外，此一時段水稻植被反射光譜的動態變化也較爲平緩，因此田間水稻的插秧日期即使相差數日，在遙測影像中也不會產生明顯變化，對影像判讀工作的影響程度可降至最少。

理論上，在不同光譜波段所拍攝的遙測影像越多，越能發掘更多的資訊。但在經費、以及可用之遙測載台和感測器之限制下，所選用之波段最好能明顯展示田間水稻生長的差異。就此點而言，近紅外光段的影像應該列爲首選，因爲植被在近紅外光段反射值的高低不僅直接與葉片之解剖結構和細胞膨壓，以及葉面積指數有關，也可間接反應許多環境因素的影響(Guyot，1990)。此外，植被近紅外光段的反射值也遠高於可見光段，因此較微小的光譜變化也能明顯表現。

遙測影像的空間解析度也必須列入考量，由於田間土壤性質的空間變異尺度多以 m 或 10m 爲單位(Dobermann *et al.*，1994；1995)，因此影像的空間解析度最好能達到公尺的等級，才容易作爲辨識田間土壤限制因子空間分佈位址的輔助工具。就此點而言，目前國內常用之 SPOT、Landsat 等資源衛星的影像將有空間解析度不足的問題，未來華衛二號的空間解析度可能勉強適用，但是最好還是採用航測的影像。國內農航所的多譜掃描儀在航高 2000m 時，可有 4m 的空間解析度；申等(2003)發展的機載簡易多光譜影像拍攝系統在航高 600m 時，可達 70cm 的空間解析度。

三、遙測影像輔助分析

首先利用於幼穗形成期(92 年 5 月 7 日)由機載多光譜影像系統取得精準試驗田區的近紅外光段(800nm±5nm)反射值分佈圖(圖 1)，此圖具有 2m 的空間解析度。由於當期作有部分田區已被規劃進行多種肥料變量施用試驗，爲避免不同試驗處理造成判釋上的困擾，因此僅選擇相鄰且屬於正常管理的 74、75、76、77、79 五塊田區進行分析，面積共約 2.7ha。

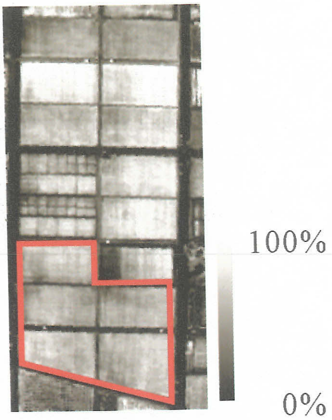

Fig. 1. Map of rice canopy reflectance at 800nm for field plots from no.74 to 89 at TARI on May 7, 2003.

近紅外光段反射值高代表水稻生長較旺盛，因此先依據反射值之高低進行分類，經驗顯示若將類別分的太多，通常不易呈現明顯的空間分佈型態。在本次研究中，以分成三類最爲理想(圖 2)，圖中明顯可見跨田區的空間分佈情形。爲瞭解由近紅外光段反射值所劃分之不同區域的土壤性質是否呈現變化，則依據申等(2002)所進行的 12.5m x 12.5m 網格土壤樣點位置，於分類屬於高反射值和低反射值的區域中各選取 8 點，各區域土壤性質的統計資料示於表 1。其中差異較明顯的土壤性質分別爲，高反射值之區域表土中石塊含量高，土壤電磁感應讀值較低，短期乾旱條件下表土中的水分含量較低，土壤呈微酸性，有機物含量較高，有效性磷的含量較高，有效性鈣的含量則較低。低反射值之區域表土中幾乎沒有石塊，土壤電磁感應讀值較高，短期乾旱條件下表土中的水分含量較高，土壤呈中性至微鹼性，有機物含量較低，有效性磷的含量較低，有效性鈣的含量較高。

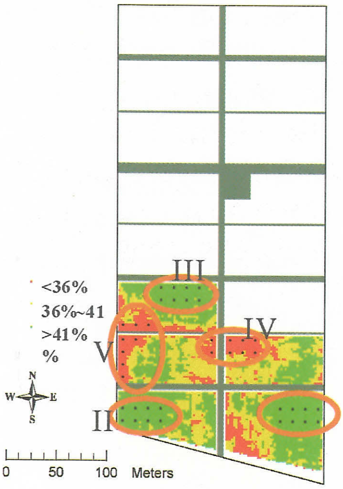

Fig. 2. Spatial distribution of rice growth classified according to 800nm reflectance. Roman numerals indicated regions where soil properties were further analyzed in Table 1.

Table 1. Comparison of soil properties at regions delineated according to the reflectance of rice canopies at 800nm.

Item[1]	High reflectance Region					Low reflectance Region				
	I	II	III	Mean[2]	SD[2]	IV	V	Mean[2]	SD[2]	Ratio[3]
800R	45.5	46.6	45.5	45.9	1.7	29.8	32.4	31.1	3.5	0.18
V0	17.5	25.0	22.4	21.6	3.9	23.9	25.1	24.5	3.3	1.26
H0	17.5	23.9	23.0	21.5	3.3	24.0	25.0	24.5	3.1	1.05
TDR	16.6	19.6	26.7	18.1[4]	3.6[4]	23.8	24.1	23.9	3.4	0.60
RD	27.5	22.9	39.5	30.0	20.0	56.0	44.9	50.4	19.0	0.95
Sand	27.2	25.9	28.5	27.2	2.7	33.5	25.4	29.5	5.5	1.81
Silt	42.9	48.0	47.2	46.1	3.3	44.4	47.0	45.7	3.8	10.18
Clay	29.9	26.1	24.3	26.8	3.1	22.0	27.6	24.8	3.7	1.74
EC	68.8	139.0	87.4	98.4	39.0	124.5	103.4	113.9	38.8	2.50
pH	5.6	6.3	5.5	5.8	0.6	7.3	6.7	7.0	0.7	0.51
OM	1.8	1.9	2.0	1.9	0.1	1.5	1.6	1.6	0.2	0.44
M3P	37.5	30.7	71.3	46.5	18.7	23.2	35.4	29.3	9.2	0.81
M3K	36.2	33.1	51.8	40.4	10.1	35.1	35.0	35.1	12.0	2.09
M3Ca	797.1	879.2	726.7	801.0	145.3	1113.0	1052.4	1082.7	321.8	0.83
M3Mg	155.3	131.1	145.0	143.8	15.4	126.7	145.6	136.2	31.5	3.07

1. 800R: Reflectance at 800nm (%); V0: EM38 in vertical position (mS m^{-1}); H0: EM38 in horizontal position (mS m^{-1}); TDR: TDR reading (V/V %); RD: Depth to rock (cm); Sand: Sand fraction (%); Silt: Silt fraction (%); Clay: Clay fraction (%); EC: 1:5 (mS m^{-1}); pH: 1:1; OM: Organic matter (%); M3P, M3K, M3Ca, M3Mg: Mehlich – III extracted P, K, Ca, Mg (ppm)
2. All regions calculated together
3. Difference of mean/average of standard deviation
4. Not including region III

圖 3 為應用遙測影像所獲得之精準試驗田區稻株氮營養空間分佈圖(申等，2003)，圖中表明在近紅外光段反射值高的區域，稻株中的氮濃度較低；在近紅外光段反射值低的區域，稻株中的氮濃度則較高。圖 4 與圖 5 分別為應用遙測影像所獲得之精準試驗田區感熱和潛熱的空間分佈圖(劉等，2003)，圖中也表明在近紅外光段反射值高的區域，水稻植被的蒸發散量較高，葉面溫度較低；在近紅外光段反射值低的區域，水稻植被的蒸發散量較低，葉面溫度則較高。

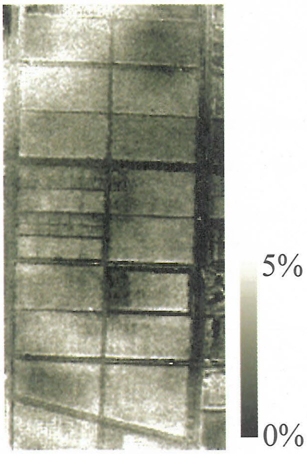

Fig. 3. Map of rice canopy nitrogen content for field plots from no.74 to 89 at TARI on April 28, 2003. (from Shen *et al*., 2003)

由以上資訊，可推測在近紅外光段反射值高的區域，由於表土中混有較多之石頭，全區均勻施用基肥與追肥的結果，將使得土壤中的氮素濃度相對提高，又由於土壤中有效磷的含量也較高，且土壤呈微酸性，利於微量元素之吸收，因此水稻生長旺盛，導致植被近紅外光段的反射增加。由於水稻生長旺盛，在稀釋效應的作用下，稻株體內的氮濃度則較低，但植被之蒸發散量則提高，而蒸散冷卻的效應則導致植被葉溫的降低。在近紅外光段反射值低的區域，由於表土中幾乎沒有石頭，全區均勻施用基肥與追肥的結果，將使得土壤中的氮素濃度相對較低，又由於有效磷的含量也較低，且土壤呈中性至微鹼性，較不利於微量元素之吸收，因此水稻生長較差，導致植被近紅外光段的反射降低。由於水稻生長較差，在濃縮效應的作用下，稻株體內的氮濃度則較高，但植被之蒸發散量卻較低，植被葉溫也因而增高。

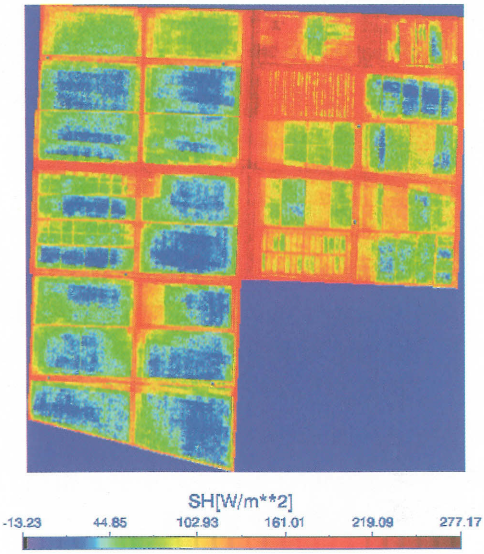

Fig. 4. Spatial distribution of sensible heat for Rice Precision Management Farm at TARI on April 28, 2003. (from Liu *et al*., 2003)

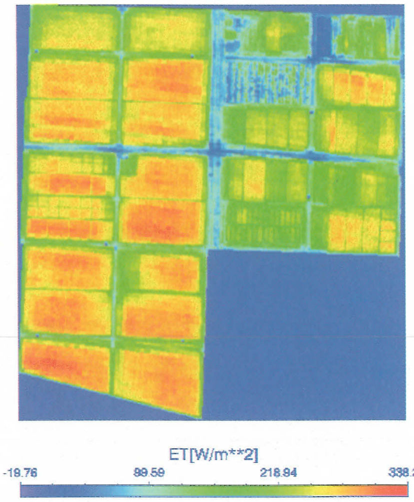

Fig. 5. Spatial distribution of latent heat for Rice Precision Management Farm at TARI on April 28, 2003. (from Liu *et al*., 2003)

就應用精準農耕技術提高水稻產量之觀點而言，依據以上的分析結果，可對田間的實務操作提出以下之初步建議：對於近紅外光段反射值高的區域，保持目前基肥與追肥的氮素用量即可；對於近紅外光段反射值低的區域，則應適量提高基肥與追肥中氮素的用量。更詳細與準確的精準農耕實務操作修正，則仍有待本團隊中「水稻栽培與環境精準管理專家決策系統」的深入分析與探討。

四、結語

本研究已成功展示如何應用遙測影像輔助判釋潛藏土壤限制因子分佈地區之方法，可與前一年度所發展之快速偵檢土壤性質空間分佈之技術結合，組成水稻精準農耕系統中，有關土壤環境空間變異特性的偵檢技術，也是未來發展精準農耕的重要關鍵技術。

五、誌謝

土壤環境空間變異特性偵檢技術的相關研究，承蒙農業委員會農業試驗所編號 91 農科-5.1.3-農-C2(07)與 92 農科-1.1.6-農-C1(04)等計畫經費補助，得以完成順利完成，謹申謝忱。

六、引用文獻

申雍。2001。第八章 精準農業體系整合應用。p. 186-203。精準農業，陳俊明主編。國立中興大學農學院農業自動化中心編印，台中市。

申雍、吳正宗、張家銘、陳仁炫、江志峰、劉禎祺、王鐘和。2002。快速偵測田間重要土壤性質空間分佈之技術。p.30。農業試驗所 91 年度「水稻精準農業體系之研究」計劃成果研討會暨展示會手冊。

申雍、李裕娟、章國威、姚銘輝。2003。機載簡易多光譜影像拍攝系統之建構與應用。p.89-96。水稻精準農業體系。楊純明、林俊義，主編。農委會農業試驗所，台中縣。

劉說安 陳奕穎 張子瑩 徐誌豪 申雍 楊純明 吳啓南。2003。利用空載多波段資料推求水稻田蒸發散量之研究。p.61-72。水稻精準農業體系。楊純明、林俊義，主編。農委會農業試驗所，台中縣。

Blackmore, B.S., P.N. Wheeler, J. Moris, R.M. Moris and R.J.A. Jones. 1995. The role of precision farming in sustainable agriculture: A European perspective. p.777-793. *In*: “Site-Specific Management for Agricultural Systems”. Robert, P.C., R.H. Rust and W.E. Larson ,eds. ASA, CSSA, SSSA.

Castelnuovo, R. 1995. Environmental concerns driving site-specific management in agriculture. p.867-880. *In*: “Site-Specific Management for Agricultural Systems”. Robert, P.C., R.H. Rust and W.E. Larson (eds.). ASA, CSSA, SSSA.

Dobermann A., J.L. Gaunt, H.U. Neue, I.F. Grant, M.A. Adviento and M.F. Pampolino. 1994. Spatial and temporal variability of ammonium in flooded rice field. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 1708-1717.

Dobermann A., M.F. Pampolino and H.U. Neue. 1995. Spatial and temporal variability of transplanted rice at the field scale. Agron. J. 87: 712-720.

Guyot, G. 1990. Optical properties of vegetation canopies. p. 19-43. *In*: “Applications of Remote Sensing in Agriculture”. Steven,

M.D. and J.A. Clark., eds. Butterworths.

Larscheid, G., B.S. Blackmore and M. Moore. 1997. Management decisions based on yield maps. http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/cpf.

Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer. 1994. "Remote Sensing and Image Interpretation". 3rd ed. John Wiley & Sons.

Long, D.S., G.R. Carlson and S.D. DeGloria. 1995. Quality of field management maps. p.251-271. *In*: "Site-Specific Management for Agricultural Systems". Robert, P.C., R.H. Rust and W.E. Larson, eds. ASA, CSSA, SSSA.

Pan, W.L., D.R. Huggins, G.L. Malzer, C.L. Douglas, Jr. and J.L. Smith. 1997. Field heterogeneity in soil-plant nitrogen relations: Implications for site-specific management. p. 81-99. *In*: "The State of Site Specific Management for agriculture". Pierce, F.J. and E.J. Sadler, eds. ASA, CSSA, SSSA.

Pierce, F.J. and E.J. Sadler, eds. 1997. The State of Site Specific Management for Agriculture. ASA, CSSA, SSSA.

Wollenhaupt, N.C., D.J. Mulla and C.A. Gotway Crawford. 1997. Soil sampling and interpolation techniques for mapping spatial variability of soil properties. p. 19-53. *In*: "The State of Site Specific Management for agriculture". Pierce, F.J. and E.J. Sadler, eds. ASA, CSSA, SSSA.

Locating Soil Limiting Factors as Assisted by Remote Sensing Images

Y. Shen*[1], J.T. Wu[1], J.H. Chen[1], C.F. Chiang[2], J.C. Liu[2] and C.H. Wang[2]
[1]Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC
[2]Division of Agricultural Chemistry, Agricultural Research Institute, COA, Taichung, Taiwan, ROC
E-mail:yshen@nchu.edu.tw

ABSTRACT

Soil properties are heterogeneous in the fields. These may result in the spatial variation of crop yields. Through remote sensing images, spatial distribution of crop growth in the field can be obtained in more efficient manner than traditional human survey. Besides, remote sensing images can provide a more integrate view of the field and are thus more useful in related analysis. In this study, the rice fields for precision management in TARI was taken as an example to illustrate the methods of using remote sensing images to assist identifying and locating the growth limiting soil factors. Preliminary suggestion regarding precision field management practices was also proposed to increase rice yield. The techniques developed this year, in conjunction with techniques for fast determining spatial distribution of soil properties at field scale, constitute the spatial variation detection scheme for soil environment. This is a key technique for precision farming.

Key words: Remote sensing, Soil properties, Spatial variation.